

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПУТЕМ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Майсурадзе М.В., Рыжков М.А., Фирсова Е.В., Скутина А.М.

Руководитель – проф., д.т.н. Юдин Ю.В

ФГАОУ ВПО УрФУ, г. Екатеринбург.

20983@rambler.ru

Предлагаемая методика моделирования процесса охлаждения изделий простой формы основана на решении задачи теплопроводности в одномерной постановке методом конечных разностей, и может быть реализована в большинстве общедоступных программных сред, таких как Microsoft Excel, OpenOffice и т.д. Это позволяет значительно сократить объем проводимых вычислений.

Алгоритм расчета основан на методе Шмидта [1], подразумевающим разбиение изделия по толщине (радиусу) на несколько слоев. Согласно этому методу, основным уравнением для расчета температурного поля по сечению изделия является следующее выражение:

$$t_{(n+1)\Delta\tau, m\Delta x} = \frac{1}{f} (t_{n\Delta\tau, (m+1)\Delta x} + (f-2)t_{n\Delta\tau, m\Delta x} + t_{n\Delta\tau, (m-1)\Delta x}), \quad (1)$$

где f – размерность шаблона, $t_{(n+1)\Delta\tau, m\Delta x}$ – температура данного слоя в настоящий момент времени, $t_{n\Delta\tau, m\Delta x}$ – температура данного слоя в предыдущий момент времени, $t_{n\Delta\tau, (m+1)\Delta x}$ и $t_{n\Delta\tau, (m-1)\Delta x}$ – температуры соседних слоев в предыдущий момент времени. Для обеспечения требуемой точности расчетов необходимо, чтобы выполнялось следующее соотношение:

$$\Delta\tau = \frac{\Delta x^2}{\mu \cdot fa}, \quad (2)$$

где $\Delta\tau$ – шаг по времени, с, Δx – толщина слоя, м, a – коэффициент температуропроводности, м²/с, $\mu = 3$ – поправочный коэффициент, определенный из условия наилучшей адекватности расчетных и экспериментальных траекторий охлаждения по критерию Фишера.

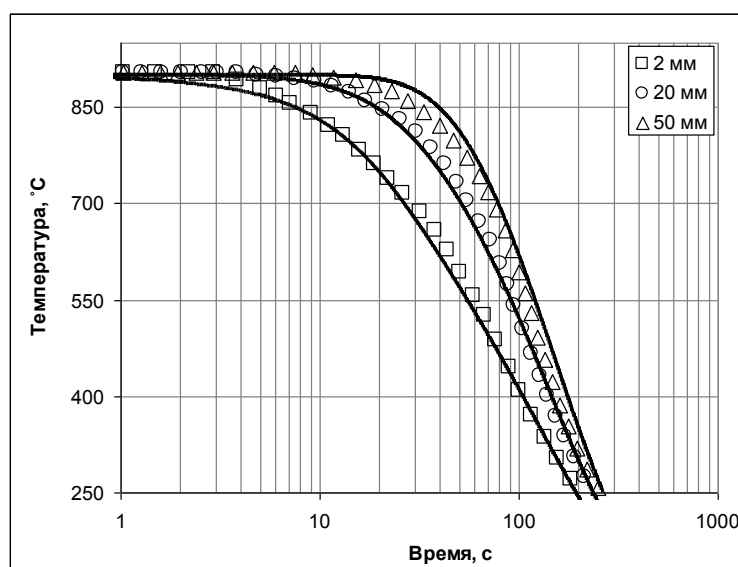
Используя метод конечных разностей, можно выразить температуру поверхности изделия с учетом граничных условий:

$$t_{n\Delta\tau,0\Delta x} = \frac{\alpha\Delta x t_0 + \mu \cdot \lambda t_{n\Delta\tau,1\Delta x}}{\mu \cdot \lambda + \alpha\Delta x}, \quad (3)$$

где $t_{n\Delta\tau,1\Delta x}$ - температура первого слоя изделия в данный момент времени, °С, t_0 - температура охлаждающей среды, °С, α - коэффициент теплоотдачи, Вт/м²К.

В общем случае исходными данными для расчета являются: теплофизические свойства стали в аустенитном состоянии (коэффициент теплопроводности λ , Вт/м*К, удельная теплоемкость c_p , Дж/кг*К, плотность ρ , кг/м³), температура охлаждающей среды t_o , °С, температура нагрева изделия t_n , °С. Коэффициент теплоотдачи при охлаждении принимается переменным в зависимости от температуры поверхности.

Для проверки адекватности модели проведен расчет температурного поля при охлаждении в масле цилиндров из стали 40Х, результаты которого сравнивались с экспериментальными данными [2] (рисунок 1). В результате траектории охлаждения, определенные расчетным методом по предложенной методике, с технически приемлемой точностью совпадают с результатами экспериментальных данных, при этом отношение табличного критерия Фишера к расчетному ($F_{\text{табл}}/F_{\text{расч}}$) составляет не менее 360.



б

Рисунок 1. Траектории охлаждения разных точек сечения цилиндра диаметром 100 мм из стали 40Х при охлаждении в масле.

Точки – экспериментальные данные [2], линии - расчет

1. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. 344 с.
Романов П. В., Радченко В. П. Превращение аустенита при непрерывном охлаждении стали: Атлас термокинетических диаграмм. Ч. 1. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд. АН СССР, 1960. 51 с.